

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Filip Cupar

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Josip Stepanić

Student:

Filip Cupar

Zagreb, 2012.

Izjava

Izjavljujem pod punom moralnom odgovornošću da sam diplomski rad izradio samostalno, isključivo znanjem stečenim na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora prof. dr. sc. Josipa Stepanića, kojem se još jednom srdačno zahvaljujem.

Filip Cupar

U Zagrebu, studeni 2012.

Zahvale

Zahvaljujem se svojem mentoru, prof. dr. sc. Josipu Stepaniću na ukazanom povjerenju i pruženoj pomoći tijekom izrade diplomskog rada.

Također se zahvaljujem, prof. dr. sc. Damiru Markučiću, dipl. ing. Miroslavu Omeliću, mag. ing. Marku Rakvinu i Tomislavu Kezele na pruženoj pomoći i savjetima tijekom izvođenja preliminarnih mjerenja.

Od srca zahvaljujem svojoj obitelji na pruženoj potpori tijekom studija.

Filip Cupar



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **FILIP CUPAR** Mat. br.: 0035152982

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **OSIGURAVANJE SLJEDIVOSTI MJERENJA ZACRNJENJA RADIOGRAMA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **ENSURING TRACEABILITY OF THE OPTICAL DENSITY MEASUREMENTS OF THE RADIOGRAPH**

Opis zadatka:

Ispravnost provedbe nerazornih ispitivanja u industriji radiografskom metodom, između ostalog, dokazuje se i mjerenjem postignutog optičkog zacrnljenja na odgovarajućim mjestima na snimljenome radiogramu pomoću mjerila zacrnljenja - denzitometra. Redovita periodična provjera i podešavanje denzitometra provodi se pomoću referentnih etalona zacrnljenja.

U radu je potrebno osmisliti i provesti usporedbena mjerenja zacrnljenja te ustanoviti značajnost pojedinih utjecajnih čimbenika na mjerenje zacrnljenja s obzirom na problematiku osiguravanja ponovljivosti, obnovljivosti i sljedivosti rezultata mjerenja. Posebnu pozornost potrebno je obratiti na utjecaj:

- starosti i općeg stanja referentnih etalona zacrnljenja,
- različitih tipova izvedbi denzitometra,
- pozadinskog osvjetljenja iluminatora.

Dobivene rezultate potrebno je analizirati sa stanovišta osiguranja kvalitete radiografskog ispitivanja, grafički prikazati te predložiti unaprijeđenja uvriježenih postupaka provjere denzitometra.

Zadatak zadan:

13. rujna 2012.

Rok predaje rada:

15. studenog 2012.

Predviđeni datum obrane:

21. i 22. studenog 2012.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Josip Štepanić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Franjo Cajner

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA	III
SAŽETAK	IV
1. UVOD	1
2. Zacrnjenje	2
3. Oprema za provođenje mjerenja zacrnjenja	3
3.1. Izvor svjetlosti	3
3.2. Denzitometar	5
3.2.1. Digit-X (Xograph)	6
3.2.2. X-Rite 301X	6
3.2.3. SAKURA PDA – 85	7
3.3. Stepeničasti etaloni za mjerenje zacrnjenja	7
3.3.1. AGFA certificirani stepeničasti etalon - AGFA Structurix certified denstep	7
3.3.2. BAM – stepeničasti etalon zacrnjenja	9
4. Provođenje postupka mjerenja referentnih vrijednosti zacrnjenja	11
5. ZAKLJUČAK	39
6. PRILOZI	40
7. LITERATURA	41

POPIS SLIKA

- Slika 1. Iluminator
- Slika 2. Princip mjerenja denzitometrom
- Slika 3. Denzitometar Digit-X
- Slika 4. Denzitometar X-Rite 301X
- Slika 5. Denzitometar Sakura PDA-85
- Slika 6. AGFA Structurix certified denstep
- Slika 7. BAM stepeničasti etalon zacrnjenja
- Slika 8. Označavanje područja mjerenja zacrnjenja na površini iluminatora
- Slika 9. Grafički prikaz referentnih vrijednosti zacrnjenja (AGFA sa važećim certifikatom)
- Slika 10. Usporedba referentnih vrijednosti etalona zacrnjenja sa vrijednostima zacrnjenja dobivenim mjerenjem zacrnjenja denzitometrom SAKURA PDA-85
- Slika 11. Usporedba referentnih vrijednosti etalona zacrnjenja sa vrijednostima zacrnjenja dobivenim mjerenjem zacrnjenja denzitometrom Digit-X (Xograph)
- Slika 12. Usporedba referentnih vrijednosti zacrnjenja (AGFA) i izmjerenih vrijednosti zacrnjenja (SAKURA PDA-85 i Digit-X)
- Slika 13. Grafički prikaz referentnih vrijednosti zacrnjenja (AGFA sa ne važećim certifikatom)
- Slika 14. Dozvoljeno odstupanje referentne vrijednosti etalona od referentnih vrijednosti dobivenih od proizvođača etalona
- Slika 15. Prikaz referentnih vrijednosti zacrnjenja i vrijednosti dobivenih mjerenjem
- Slika 16. Prikaz referentnih vrijednosti zacrnjenja i vrijednosti dobivenih mjerenjem
- Slika 17. Grafički prikaz referentnih vrijednosti zacrnjenja (BAM)
- Slika 18. Usporedba referentnih vrijednosti (BAM) i vrijednosti dobivenih mjerenjem
- Slika 19. Područja mjerenja zacrnjenja na jednoj stepenici etalona zacrnjenja
- Slika 20. Usporedba rezultata mjerenja zacrnjenja pri maksimalnom i smanjenom intenzitetu svjetlosti iluminatora

POPIS TABLICA

- Tablica 1. Minimalno osvjetljenje zaslona iluminatora u ovisnosti o zacrnjenju radiograma
- Tablica 2. Referentne vrijednosti dobivene od proizvođača stepeničastog etalona (AGFA- sa važećim certifikatom)
- Tablica 3. Vrijednosti zacrnjenja dobivene mjerenjem denzitometrom SAKURA PDA-85 (AGFA- sa važećim certifikatom)
- Tablica 4. Vrijednosti zacrnjenja dobivene mjerenjem denzitometrom Digit-X (AGFA- sa važećim certifikatom)
- Tablica 5. Referentne vrijednosti dobivene od proizvođača stepeničastog etalona (AGFA- sa ne važećim certifikatom)
- Tablica 6. Vrijednosti zacrnjenja dobivene mjerenjem denzitometrom X-Rite 301-X (AGFA- sa važećim certifikatom)
- Tablica 7. Vrijednosti zacrnjenja dobivene mjerenjem denzitometrom X-Rite 301-X (AGFA- sa ne važećim certifikatom)
- Tablica 8. Referentne vrijednosti dobivene od proizvođača stepeničastog etalona (BAM)
- Tablica 9. Vrijednosti zacrnjenja dobivene mjerenjem denzitometrom X-Rite 301-X
- Tablica 10. Rezultati mjerenja za AGFA stepeničasti etalon sa važećim certifikatom
- Tablica 11. Rezultati mjerenja za AGFA stepeničasti etalon sa ne važećim certifikatom
- Tablica 12. Rezultati mjerenja za BAM stepeničasti etalon
- Tablica 13. Rezultati mjerenja zacrnjenja na stepeničastom etalonu zacrnjenja sa ne važećim certifikatom pri maksimalnom intezitetu svjetlosti iluminatora
- Tablica 14. Rezultati mjerenja zacrnjenja na stepeničastom etalonu zacrnjenja sa ne važećim certifikatom pri maksimalnom intezitetu svjetlosti iluminatora

SAŽETAK

Cilj provedbe mjerenja zacrnljenja je doznati koji parametri utječu na dobiveni rezultat. Opisan je način na koji su provedena mjerenja zacrnljenja, te su interpretirani dobiveni rezultati mjerenja. Usporedbom rezultata mjerenja na različitim tipovima denzitometara sa referentnim vrijednostima zacrnljenja dobivenim stepeničastog etalona zacrnljenja utvrđeno je kolika je točnost korištenih denzitometara. Stepeničasti etaloni zacrnljenja su od različitih proizvođača, te različitih starosti sa i bez važećeg certifikata. Mjerenja su provedena i pri različitim intezitetima svjetlosti iluminatora kako bi se uočio eventualni utjecaj inteziteta svjetlosti iluminatora na dobivene rezultate mjerenja zacrnljenja. Kao krajnji rezultat predložen je postupak za provjeru denzitometra.

Ključne riječi: denzitometar, iluminator, stepeničasti etalon zacrnljenja, zacrnljenje

1. UVOD

Radiografijom se otkrivaju unutrašnje greške pomoću ozračivanja dijelova rentgenskim tj. X-zrakama i γ -zrakama, njihovim prolaskom kroz ispitivani objekt. Prolaženjem rentgenskih zraka kroz materijal i grešku, zbog različite absorpcije, dolazi do različitog inteziteta zračivanja filmske emulzije filma koji se nalazi iza ispitnog objekta - indikacije. U cilju dobivanja radiograma ispitivani komad se stavlja između izvora zračenja tj. rendgenske cijevi i kasete s filmom na što manjoj udaljenosti. Ovisno o veličini indikacije, njene gustoće, lokacije i osjetljivosti filma ovisi i stupanj zacrnjenja.

S obzirom na atomski broj materijali imaju različitu sposobnost propuštanja zračenja, tako da manje propuštaju zrake ukoliko je njihova atomska težina veća. Ovo svojstvo koristi se pri ispitivanju. Stoga će sve pogreške, šupljine, pore, pukotine i slični defekti, biti jasno uočljivi na filmu koji je istovremeno trajni dokument kvalitete dobiven bez razaranja komada.

Zacrnjenje radiograma pri snimanju zavisi od absorpcije metala, što znači da će svaka pogreška u proizvodu odnosno nehomogenost u materijalu biti pokazana na filmu različitim zacrnjenjem. Pri tome kvaliteta radiograma utoliko je bolja ukoliko je ozračen film kontrastniji i što je veća razlika između pojedinih granica kontura. Osjetljivost radiograma se cijeni veličinom najmanje pogreške koja je utvrđena na negativu pomoću indikatora [1].

2. Zacrnenje

Logaritam odnosa inteziteta svjetlosti koja pada na određeni dio filma prema intezitetu svjetlosti koja prolazi kroz njega naziva se zacrnenje. Uobičajena oznaka koja se upotrebljava za zacrnenje je D .

$$D = \log_{10} \frac{I_0}{I}$$

gdje je:

I_0 – intezitet svjetlosti koja pada na film

I – intezitet svjetlosti koja prolazi kroz film

3. Oprema za provođenje mjerenja zacrnljenja

U sklopu ovog projekta provedena su mjerenja u laboratoriju za nerazorna ispitivanja.

Oprema potrebna za provođenje mjerenja zacrnljenja je:

- izvor svjetlosti (iluminator)
- denzitometar
- stepeničasti etaloni sa referentnim vrijednostima zacrnljenja

3.1. Izvor svjetlosti

U ovom projektu kao izvor svjetlosti korišten je iluminator (slika 1.).



Slika 1. Iluminator

Svjetlost dobivena iluminatorom koja služi za potrebe pregleda mora biti:

- jednolika, dakle vremenski konstantnog inteziteta
- difuzna, dakle jednoliko raspršena unutar prostora

Svjetlost iluminatora u principu treba biti bijela. Dozvoljeni interval valnih duljina je od 520 nm do 600 nm [2]. Raspršenost svjetlosti mora biti takva da oba oka promatrača primaju svjetlost sa svakog mjesta svjetleće površine.

Illuminator se sastoji od kućišta i zaslona za pregled radiograma koji je osvijetljen s unutrašnje strane. Kućište može sadržavati sustav za toplinsku zaštitu radiograma, dakle mogu i ne moraju biti ventilirana. Za gledanje mokrih radiograma osvijetljenje mora biti tako izvedeno da se spriječi prodiranje tekućina u kućište ukoliko dođe do kontakta radiograma i zaslona za pregled radiograma. [9]

Hlađenje u iluminatoru sprječava povišenje temperature kućišta i svjetleće površine iluminatora iznad 60 °C. Boljim odvodom topline osigurava se i dulji radni vijek iluminatora. Definirana je i gornja granica buke koju smije doseći iluminator u radu, npr. 40 dB [2].

Osvjetljenost zaslona za pregled radiograma ovisi o zacrtnjenju radiograma. U tablici 1. preporučene su minimalne vrijednosti osvijetljenja zaslona iluminatora ovisno o zacrtnjenju radiograma. [9]

Tablica 1. Minimalno osvijetljenje zaslona iluminatora u ovisnosti o zacrtnjenju radiograma [9]

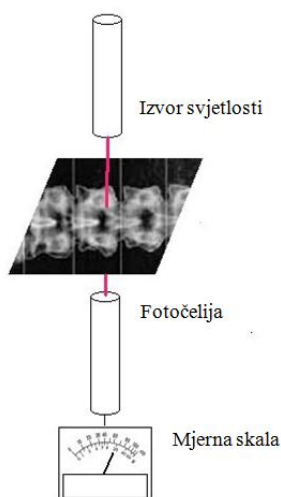
Zacrtnjenje radiograma	Minimalno osvijetljenje zaslona cd/m ²
1	300
1,5	1000
2	3000
2,5	10 000
3	10 000
3,5	30 000
4	100 000
4,5	300 000

3.2. Denzitometar

Denzitometar je uređaj koji služi za mjerenje zacrnljenja bilo koje točke na radiogramu. Tipovi denzitometra koji se najčešće koriste mjere područja površine 1mm^2 . Raspon vrijednosti zacrnljenja kreće se od $D=0-5,00$.

Kod denzitometra je važno periodičko podešavanje. Uz denzitometre dobivamo i etalone zacrnljenja koji služe za podešavanje uređaja. Podešavanje nužno mora biti izvršeno barem jedanput godišnje. Etaloni zacrnljenja se troše kada dolazi do pomicanja unutar prozirne kutije u kojoj se čuvaju, te prilikom samog rukovanja etalomom (npr. masnoća s prstiju). Do trošenja etalona dolazi i prilikom prislanjanja etalona zacrnljenja na iluminator prilikom mjerenja zacrnljenja zbog povišene temperature svjetleće površine iluminatora, te prilikom izvođenja mjerenja zacrnljenja denzitometrom odnosno pri kontaktu denzitometra i etalona zacrnljenja (utiskivanje, grebanje i sl.). Rok upotrebe nikad nije duži od 6 mjeseci. Stoga je AGFA razvila "Denstep" odnosno stepeničasti etalon zacrnljenja koji se isporučuje u posebnom pakiranju koje znatno produžuje vijek trajanja. Ti etaloni su certificirani i imaju garantni rok upotrebe od 4 godine do trenutka otvaranja pakiranja [3].

Kod industrijskih denzitometara se očekuje konstantna eksploatacija pa su izrađeni po standardima visoke kvalitete (24 satna eksploatacija). [3]



Slika 2. Princip mjerenja denzitometrom [4]

Prilikom izvođenja mjerenja zacrnljenja korištena su tri različita tipa denzitometra.

3.2.1. Digit-X (Xograph)

Digit-X je prenosiv i kompaktan uređaj za mjerenje zacrnljenja u industrijskoj radiografiji. Rezultat mjerenja se prikazuje na LCD zaslonu na dvije decimale.

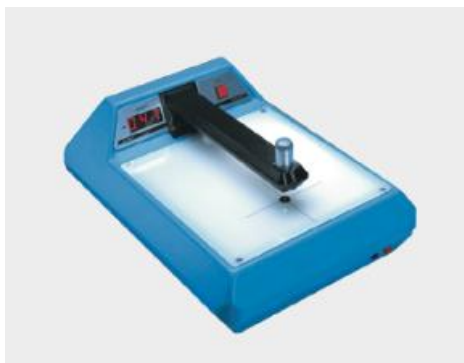
Raspon zacrnljenja koji mjeri je od $D=0-4,00$. Promjer otvora (apertura) iznosi 3 mm (~7 mm²). Dimenzije uređaja su 210x60x40 mm, a težina uređaja je 175 g. [5]



Slika 3. Denzitometar Digit-X

3.2.2. X-Rite 301X

X-Rite 301X denzitometar ima raspon mjerenja zacrnljenja od $D=0-5,00$, a rezultat se prikazuje na LCD zaslonu na dvije decimale. Njegova upotreba vrlo je jednostavna - "pritisni i očitaj". Promjer otvora (apertura) iznosi 3 mm. Dimenzije uređaja su 132x258x378 mm, težina uređaja je 3,8 kg. [6]



Slika 4. Denzitometar X-Rite 301X

3.2.3. SAKURA PDA – 85

Sakura PDA-85 je prenosiv uređaj za mjerenje zacrnljenja u industrijskoj radiografiji. Rezultat mjerenja se prikazuje na LCD zaslonu na dvije decimale. Promjer otvora (apertura) iznosi 3 mm.



Slika 5. Denzitometar Sakura PDA-85

3.3. Stepeničasti etaloni za mjerenje zacrnljenja

Mjerenja su provedena na dva stepeničasta etalona za mjerenje zacrnljenja različitih proizvođača:

- AGFA stepeničasti etalon zacrnljenja (sa važećim i ne važećim certifikatom)
- BAM – stepeničasti etalon zacrnljenja

3.3.1. AGFA certificirani stepeničasti etalon - AGFA Structurix certified denstep

Identifikacijski broj: 9321023

Datum kalibriranja: rujan, 2010

Datum prvog korištenja: 11.01.2011.

1. Uporaba

Structurix certificirani stepeničasti etalon je etalon za kalibriranje optičkih prijenosnih denzitometara koji se koriste u industrijskoj radiografiji u području nerazornih ispitivanja.

2. Opis

Structurix certificirani stepeničasti etalon je izrađen na structurix D7 filmu koji se razvija na standardni način: temperatura razvijanja je 28 °C, vrijeme razvijanja je 100 sekundi (± 5 sekundi). Dimenzije etalona su 35x230 mm. Film je plave boje sa emulzijom na obje strane. Structurix certificirani stepeničasti etalon ima raspon zacrnljenja od $D=0-4,00$, sastoji se od 15 stepenica sa intervalima između stepenica od približno 0,3 (najniža vrijednost zacrnljenja je $<0,3$, a najviša vrijednost zacrnljenja je $> 3,9$).

3. Umjeravanje denzitometra

Vrijednosti zacrnljenja dobivenih od proizvođača izmjerene su kalibriranim optičkim prijenosnim denzitometrom Macbeth TR924 sa promjerom kružnog otvora od 3mm. Denzitometar je umjeravan metodama koje udovoljavaju uvjetima navedenim u ISO standardu za umjeravanje prijenosnih denzitometara, prema ANSI PH2.19-1990 i ISO 5-2:1991 "Mjerenje zacrnljenja- geometrijski uvjeti za prijenosne denzitometre" i prema ANSI PH2.18 i ISO 5-3:1984 "Mjerenje zacrnljenja- spektralni uvjeti". Mjerenja su provedena u centru svake pojedine stepenice. Ukupna procijenjena nesigurnost (u kombinaciji točnosti i preciznosti sa pouzdanošću od 95%) što znači da su vrijednosti zacrnljenja dane u tablici $\pm 0,022$ ili 2,2 %, ovisno o tome što je veće.

4. Trajnost

Trajnost stepeničastog etalona ovisi o načinu skladištenja i načinu rukovanja. Stepeničasti etalon je zapakiran u voodootpornu ambalažu, te je do trenutka otvaranja zaštićen i od grebanja i abrazije. Garancija ne otvorenog pakiranja iznosi 4 godine od datuma certificiranja etalona.

5. Životni vijek korištenja

Etalon se može koristiti 24 mjeseca od dana otvaranja pakiranja ili drugačije ako je tako navedeno u uputama. Stepeničasti etalon mora biti uskladišten na mračnom, hladnom i suhom mjestu. [7]



Slika 6. AGFA Structurix certified denstep

3.3.2. BAM – stepeničasti etalon zacrnjenja

BAM - državni zavod za istraživanje i ispitivanje materijala - Njemačka

Identifikacijski broj: 190298015

Umjeravano prema PTB (Njemački institut za fiziku i tehniku)

Datum kalibriranja: 19.02.1998.

Kalibracijski broj: 3598PTB96

Tolerancija: < 0,05 apsolutno

Primjena:

Podešavanje uređaja za mjerenje zacrnjenja (denzitometra) za industrijsku radiografiju u rasponu zacrnjenja od $D = 0,3 - 5,00$

Mjerenja se moraju provoditi na udaljenosti od minimalno 1,5 mm od ruba mjernih područja kako bi izmjerene vrijednosti zacrnjenja bile iste kao i one referentne vrijednosti zacrnjenja dobivenih od proizvođača. Da bi mjerenja bila ispravno provedena emulzijski sloj etalona ne smije biti oštećen.

Skladištenje:

Stepeničasti etalon zacrnjenja mora biti skladišten na hladnom, suhom i tamnom mjestu kako bi se izbjeglo prerano starenje. [8]



Slika 7. BAM stepeničasti etalon zacrnjenja

4. Provođenje postupka mjerenja referentnih vrijednosti zacrnljenja

Za provođenje postupka mjerenja referentnih vrijednosti zacrnljenja moralo se osigurati da se zacrnljenje na stepeničastom etalonu zacrnljenja mjeri uvijek na istom mjestu na površini iluminatora budući da osvjetljenje, u praksi, ne mora biti jednoliko po cijeloj površini iluminatora. Time se postiglo da se sve "stepenice" zacrnljenja mjere pri istom intenzitetu osvjetljenja i eliminirao se jedan od utjecaja na dobivene rezultate mjerenja. To se osiguralo na način da se na površini iluminatora označi područje u kojem se provode mjerenja svake "stepenice" zacrnljenja. To područje označeno je papirnom ljepljivom trakom kako ne bi došlo do oštećenja osvjetljene površine što je prikazano na slici 8. Dimenzija označenog područja je 35x15 mm što odgovara dimenzijama same "stepenice" zacrnljenja na stepeničastom etalonu zacrnljenja. Pri izvođenju mjerenja intenzitet osvjetljenja na iluminatoru bio je maksimalan.



Slika 8. Označavanje područja mjerenja zacrnljenja na površini iluminatora

Mjerenja su započeta na referentnom stepeničastom etalonu AGFA Structurix certified denstep sa još uvijek važećim certifikatom. Podešavanje denzitometra izvršeno je ili pri promjeni uređaja ili pri promjeni stepeničastog etalona, ovisno o tome koja promjena je prije nastupila, što znači da podešavanje nije izvršavano pri izvođenju svakog pojedinog mjerenja zacrnljenja. Nakon izvršenog mjerenja jednim denzitometrom uređaj je ugašen dok se pri svakom novom korištenju uređaj ponovno uključio i podesio. Podešavanje denzitometra izvodi se na način da se denzitometar prisloni na svjetleću površinu iluminatora pri intenzitetu osvjetljenja pri kojem se izvodi mjerenje zacrnljenja te se denzitometar podesi na nulu (tipka

za podešavanje). Mjerenja su izvođena slučajnim redoslijedom što znači da je neka od "stepenica" zacrnjenja možda bila izmjerena i tri puta dok neka nije ni jedanput izmjerena, ali ista "stepenica" zacrnjenja nikad nije mjerena dvaput za redom.

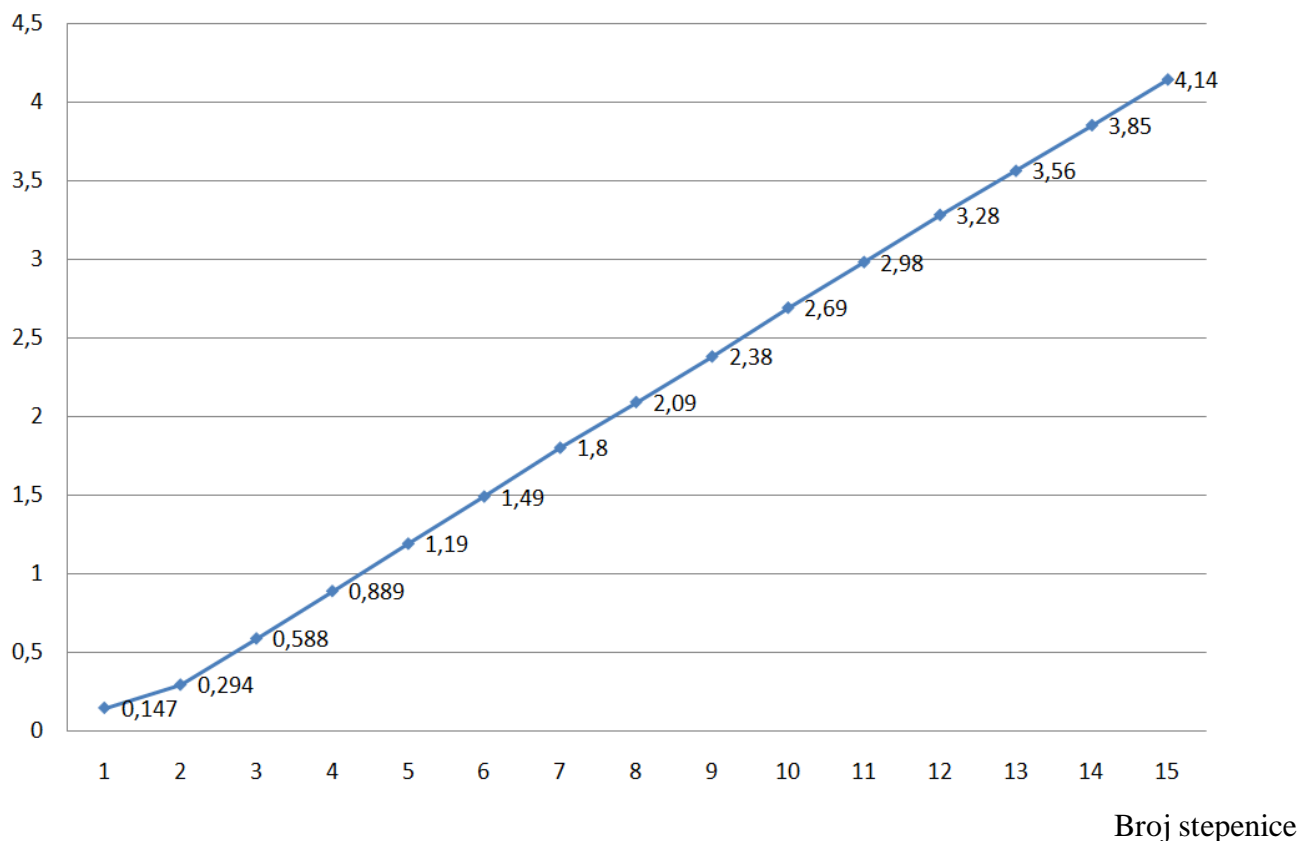
Referentne vrijednosti dobivene od proizvođača stepeničastog etalona sa važećim certifikatom (AGFA) prikazane su u tablici 2.

Tablica 2. Referentne vrijednosti dobivene od proizvođača stepeničastog etalona (AGFA- sa važećim certifikatom)

AGFA br. 9321023	
Stepenica	Referentna vrijednost
STEP 0	0.147
STEP 1	0.294
STEP 2	0.588
STEP 3	0.889
STEP 4	1.190
STEP 5	1.490
STEP 6	1.800
STEP 7	2.090
STEP 8	2.380
STEP 9	2.690
STEP 10	2.980
STEP 11	3.280
STEP 12	3.560
STEP 13	3.850
STEP 14	4.140

Referentne vrijednosti zacrnjenja iz tablice 2. grafički su prikazane na grafu 1.

Zacrnjenje (D)



Slika 9. Grafički prikaz referentnih vrijednosti zacrnjenja (AGFA sa važećim certifikatom)

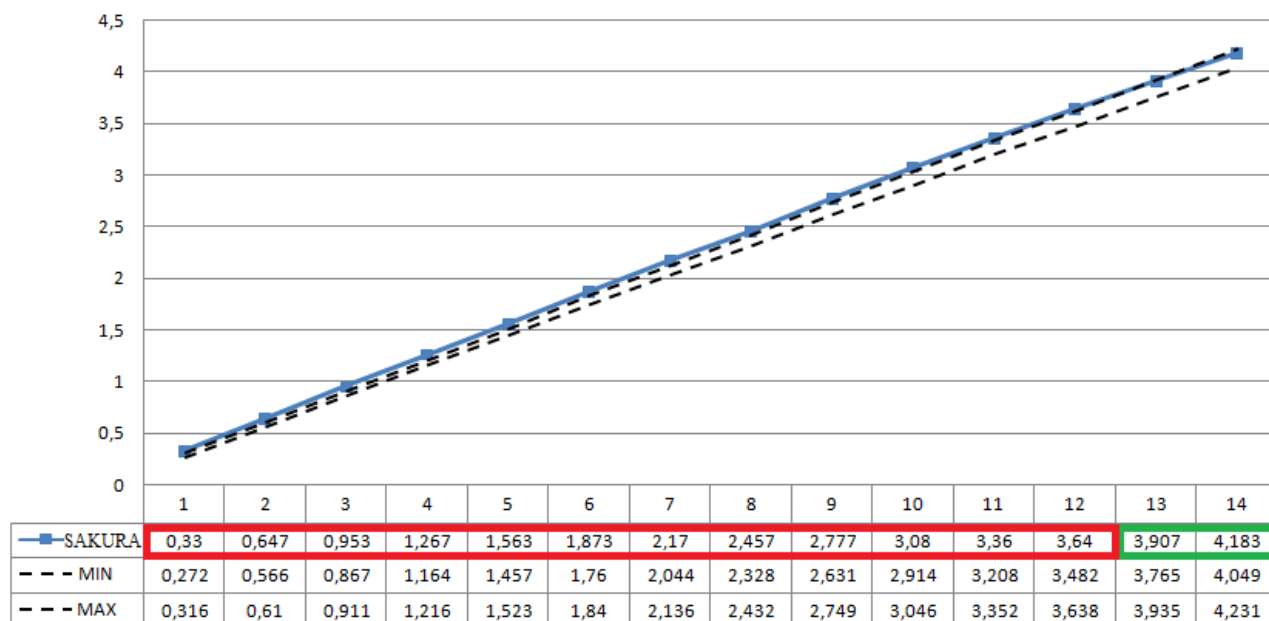
Iz grafa na slici 9. vidljivo je da se raspon od najniže vrijednosti zacrnjenja do najviše vrijednosti zacrnjenja na stepeničastom etalonu zacrnjenja mijenja linearno sa intervalima između stepenica od približno 0,3.

Vrijednosti zacrnjenja dobivenih od proizvođača stepeničastog etalona zacrnjenja uspoređene su sa vrijednostima zacrnjenja dobivenim mjerenjem tog istog etalona sa dva različita tipa denzitometra. Mjerenja su provedena denzitometrom SAKURA PDA-85 čiji su rezultati mjerenja prikazani u tablici 3. i denzitometrom Digit-X (Xograph) čije su vrijednosti dobivene mjerenjem zacrnjenja prikazane u tablici 4.

Tablica 3. Vrijednosti zacrnjenja dobivene mjerenjem denzitometrom SAKURA PDA-85 (AGFA- sa važećim certifikatom)

SAKURA PDA-85							
Stepenica	1.mjerenje	2.mjerenje	3.mjerenje	Srednja vrijednost	Referentna vrijednost	Razlika referentne i srednje vrijednosti	Δ (%)
STEP 1	0.33	0.32	0.34	0.330	0.294	0.036	12.2
STEP 2	0.65	0.64	0.65	0.647	0.588	0.059	10
STEP 3	0.95	0.96	0.95	0.953	0.889	0.064	7.2
STEP 4	1.27	1.25	1.28	1.267	1.190	0.077	6.4
STEP 5	1.55	1.57	1.57	1.563	1.490	0.073	4.9
STEP 6	1.87	1.87	1.88	1.873	1.800	0.073	4.1
STEP 7	2.18	2.16	2.17	2.170	2.090	0.08	3.8
STEP 8	2.45	2.46	2.46	2.457	2.380	0.077	3.2
STEP 9	2.78	2.77	2.78	2.777	2.690	0.087	3.2
STEP 10	3.08	3.06	3.10	3.080	2.980	0.1	3.4
STEP 11	3.36	3.35	3.37	3.360	3.280	0.08	2.4
STEP 12	3.63	3.63	3.66	3.640	3.560	0.08	2.25
STEP 13	3.90	3.91	3.91	3.907	3.850	0.057	1.5
STEP 14	4.18	4.19	4.18	4.183	4.140	0.043	1

Zacrtnjenje (D)



Broj stepenice

Slika 10. Usporedba referentnih vrijednosti etalona zacrnjenja sa vrijednostima zacrnjenja dobivenim mjerenjem zacrnjenja denzitometrom SAKURA PDA-85

Iz grafa na slici 10. vidljivo je da su samo rezultati mjerenja zacrnjenja 13. i 14. stepenice unutar dozvoljenog odstupanja. Budući da su mjerenja zacrnjenja izvođena na etalonu zacrnjenja sa važećim certifikatom može se zaključiti da denzitometar SAKURA PDA-85 nije točan. U prvom retku tablice ispod grafa prikazane su prikazane su srednje vrijednosti zacrnjenja stepenica etalona dobivene nakon izvođenja po tri mjerenja na svakoj stepenici. U drugom i trećem retku prikazane su minimalne i maksimalne vrijednosti dozvoljenog odstupanja stepeničastog etalona zacrnjenja od referentnih vrijednosti dobivenih od proizvođača etalona što je na grafu prikazano iscrtkanim linijama. Crvenom bojom označeni su rezultati koji su izvan tolerancijskog polja, a zelenom bojom označeni su rezultati mjerenja koji se nalaze unutar tolerancijskog polja.

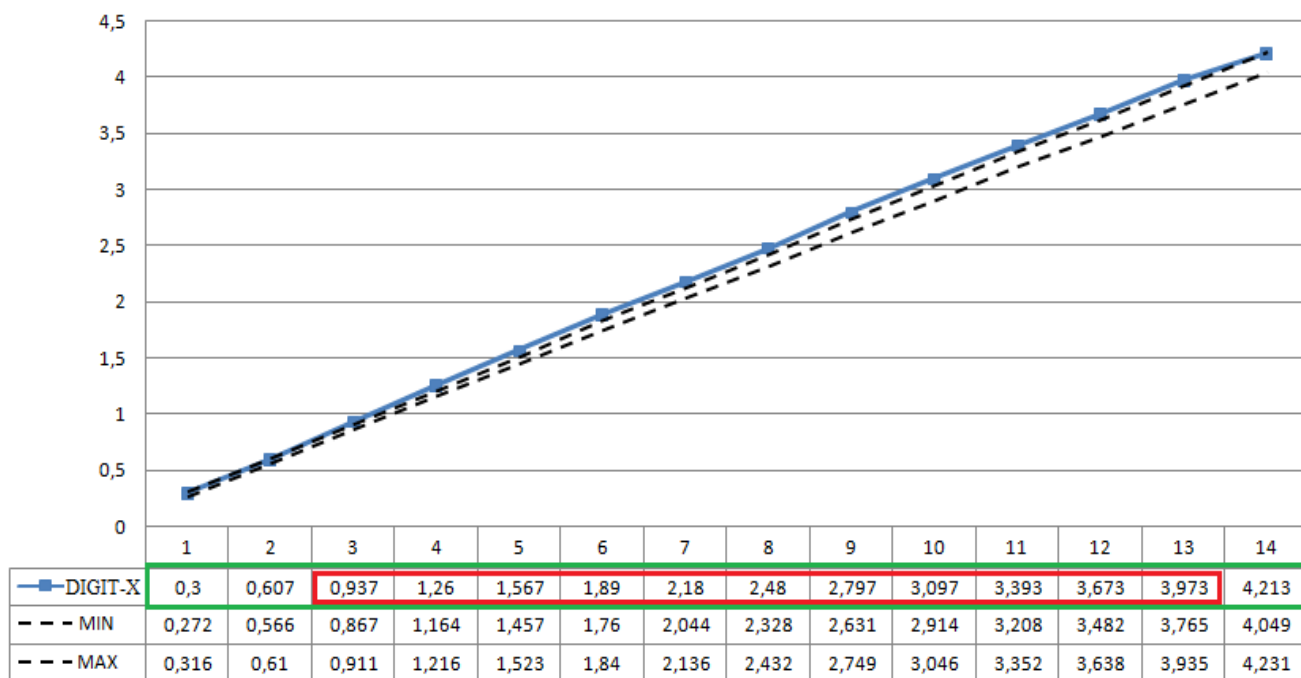
Potrebno je napomenuti da u obzir nije uzeto dozvoljeno odstupanje denzitometra SAKURA PDA-85. S obzirom da rezultati mjerenja vrlo malo odstupaju od dozvoljenog, uzevši u obzir i toleranciju samog denzitometra gotovo bi svi rezultati bili unutar zadanih tolerancija.

Tablica 4. Vrijednosti zacrnjenja dobivene mjerenjem denzitometrom Digit-X (Xograph) (AGFA – sa važećim certifikatom)

Digit-X (Xograph)							
Stepenica	1.mjerenje	2.mjerenje	3.mjerenje	Srednja vrijednost	Referentna vrijednost	Razlika referentne i srednje vrijednosti	Δ (%)
STEP 1	0.30	0.30	0.30	0.300	0.294	0.006	2
STEP 2	0.59	0.61	0.62	0.607	0.588	0.019	3.2
STEP 3	0.93	0.94	0.94	0.937	0.889	0.048	5.4
STEP 4	1.25	1.26	1.27	1.260	1.190	0.07	5.9
STEP 5	1.55	1.57	1.58	1.567	1.490	0.077	5.2
STEP 6	1.88	1.89	1.90	1.890	1.800	0.09	5
STEP 7	2.16	2.18	2.20	2.180	2.090	0.09	4.3
STEP 8	2.47	2.48	2.49	2.480	2.380	0.1	4.2
STEP 9	2.79	2.80	2.80	2.797	2.690	0.107	4
STEP 10	3.07	3.11	3.11	3.097	2.980	0.117	3.9
STEP 11	3.38	3.40	3.40	3.393	3.280	0.113	3.4
STEP 12	3.66	3.67	3.69	3.673	3.560	0.113	3.2
STEP 13	3.96	3.98	3.98	3.973	3.850	0.123	3.2
STEP 14	4.21	4.21	4.22	4.213	4.140	0.073	1.8

Denzitometar Digit-X (Xograph) ima raspon mjerenja zacrnjenja od 0 do 4 što bi značilo da vrijednost zacrnjenja 14. stepenice etalona zacrnjenja nije vjerodostojna zbog toga što je vrijednost zacrnjenja te stepenice veća od 4.

Zacrtnjenje (D)



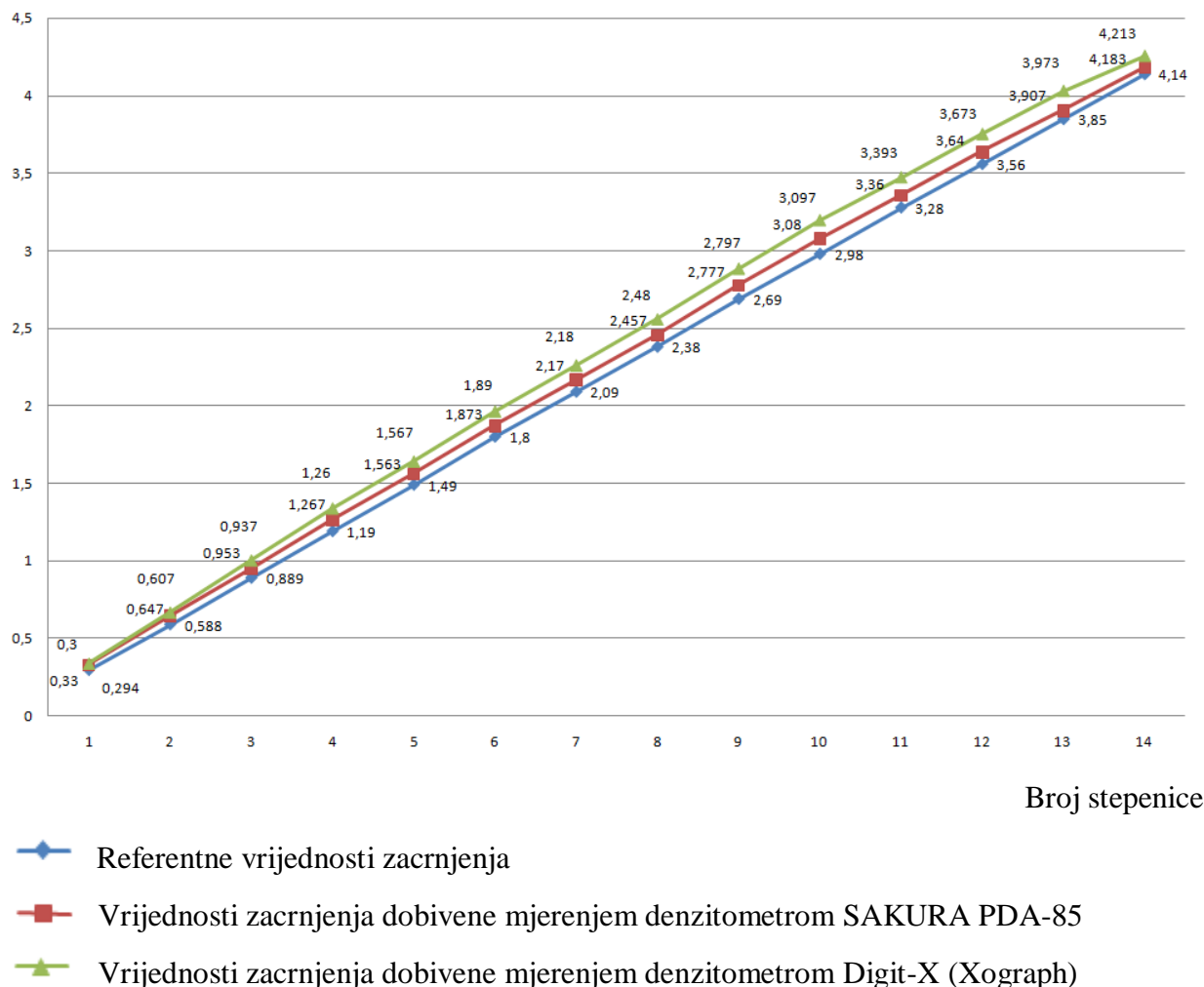
Broj stepenice

Slika 11. Usporedba referentnih vrijednosti etalona zacrnjenja sa vrijednostima zacrnjenja dobivenim mjerenjem zacrnjenja denzitometrom Digit-X (Xograph)

Iz grafa na slici 11. može se vidjeti da su stepenice 1,2 i 14 unutar tolerancija dobivenih uz etalon zacrnjenja, dok sve ostale stepenice nisu unutar tog tolerancijskog polja i označene su crvenom bojom. Kada se uzme u obzir da točnost denzitometra Digit-X (Xograph) varira od ± 0.05 tada denzitometar pokazuje vrijednosti koje odgovaraju referentnim vrijednostima stepeničastog etalona zacrnjenja s važećim certifikatom (označeno zelenom bojom) što dovodi do zaključka da denzitometar pokazuje ispravne rezultate.

Mjerenja su provedena slučajnim redoslijedom. Svaka stepenica etalona izmjerena je tri puta te je kao konačna vrijednost zacrnjenja uzeta srednja vrijednost od te tri vrijednosti. Mjerenja su provedena približno u centru svake stepenice etalona. Na grafu 4. prikazane su vrijednosti iz tablice 3. i tablice 4. kako bi se izmjerene vrijednosti zacrnjenja mogle usporediti sa referentnim vrijednostima zacrnjenja dobivenih od proizvođača etalona zacrnjenja.

Zacrnjenje (D)



Slika 12. Usporedba referentnih vrijednosti zacrnjenja (AGFA) i izmjerenih vrijednosti zacrnjenja (SAKURA PDA-85 i Digit-X)

Iz grafa na slici 12. vidljivo je da rezultati mjerenja zacrnjenja odstupaju od rezultata dobivenih od proizvođača samog etalona. Razlika u rezultatima mogla bi se pripisati tome da proizvođač vjerojatno ima gotovo idealne uvjete prilikom mjerenja zacrnjenja i vjerojatno puno precizniji denzitometar, no ovi denzitometri možda nisu toliko precizni budući da su u konstantnoj eksploataciji, ali su točni jer je odstupanje od referentnih vrijednosti gotovo jednako za svaku stepenicu zacrnjenja. Rezultati mjerenja zacrnjenja denzitometrom SAKURA PDA-85 grafički prikazanih na slici 12. daju paralelnu liniju sa rezultatima proizvođača dok kod prikaza rezultata denzitometra digit-X dolazi do laganog zaobljenja što znači da odstupanje od referentnih vrijednosti nije konstantno.

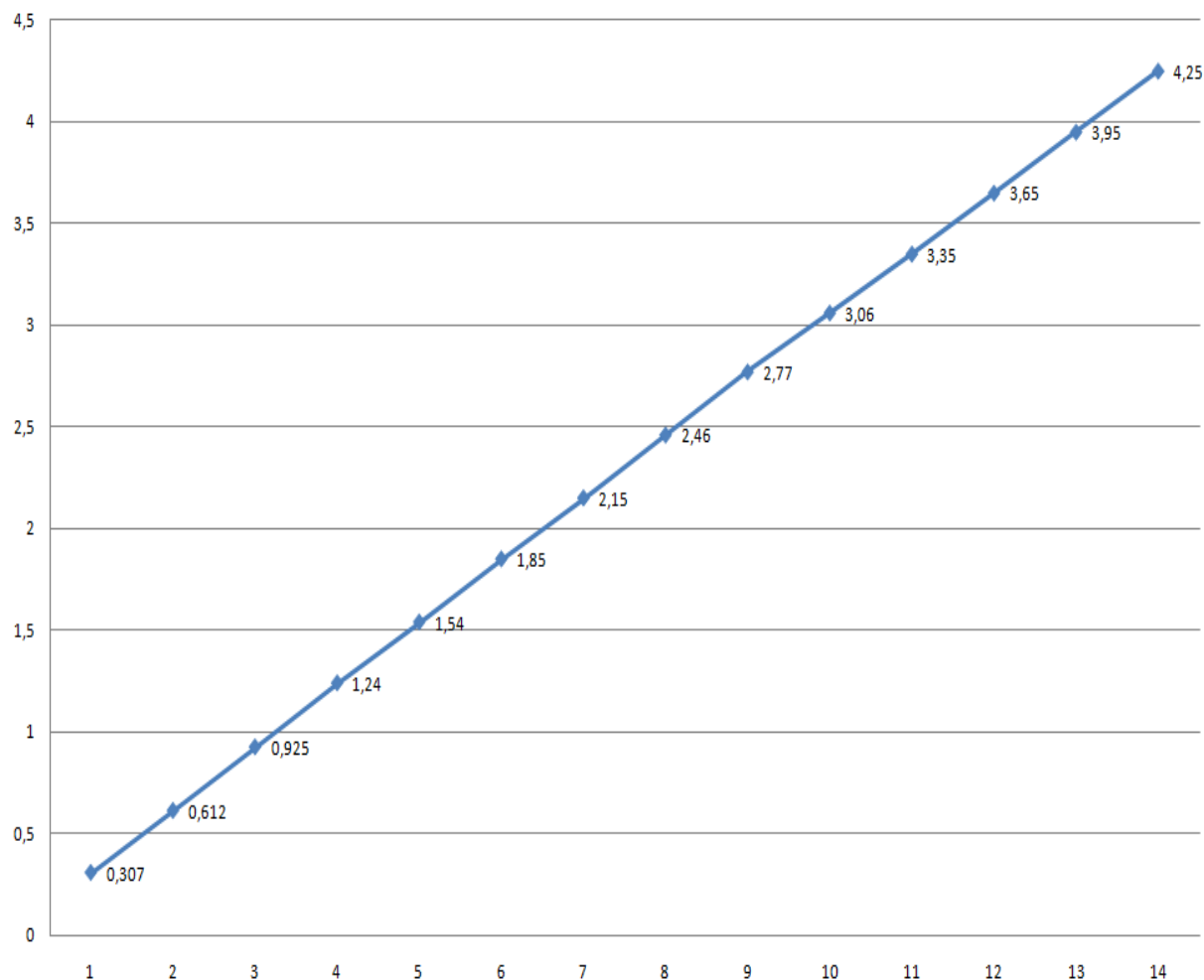
Nakon mjerenja AGFA stepeničastog etalona sa važećim certifikatom, mjerenja su provedena i na AGFA stepeničastom etalonu starom 15-ak godina kako bi se vidjelo da li postoji kakva razlika u dobivenim rezultatima. Svaki stepeničasti etalon ima i svoje referentne vrijednosti. Referentne vrijednosti AGFA stepeničastog etalona s ne važećim certifikatom prikazane su u tablici 5.

Tablica 5. Referentne vrijednosti dobivene od proizvođača stepeničastog etalona (AGFA- sa ne važećim certifikatom)

AGFA (ne važeći certifikat)	
Stepenica	Referentna vrijednost
STEP 0	0.171
STEP 1	0.307
STEP 2	0.612
STEP 3	0.925
STEP 4	1.240
STEP 5	1.540
STEP 6	1.850
STEP 7	2.150
STEP 8	2.460
STEP 9	2.770
STEP 10	3.060
STEP 11	3.350
STEP 12	3.650
STEP 13	3.950
STEP 14	4.250

Referentne vrijednosti zacrnjenja iz tablice 5. grafički su prikazane na grafu 5.

Zacrnjenje (D)



Broj stepenice

Slika 13. Grafički prikaz referentnih vrijednosti zacrnjenja (AGFA sa ne važećim certifikatom)

Iz grafa na slici 13. vidljivo je da se raspon od najniže vrijednosti zacrnjenja do najviše vrijednosti zacrnjenja na stepeničastom etalonu zacrnjenja mijenja linearno sa intervalima između stepenica od približno 0,3 što je bio i slučaj kod AGFA stepeničastog etalona s važećim certifikatom.

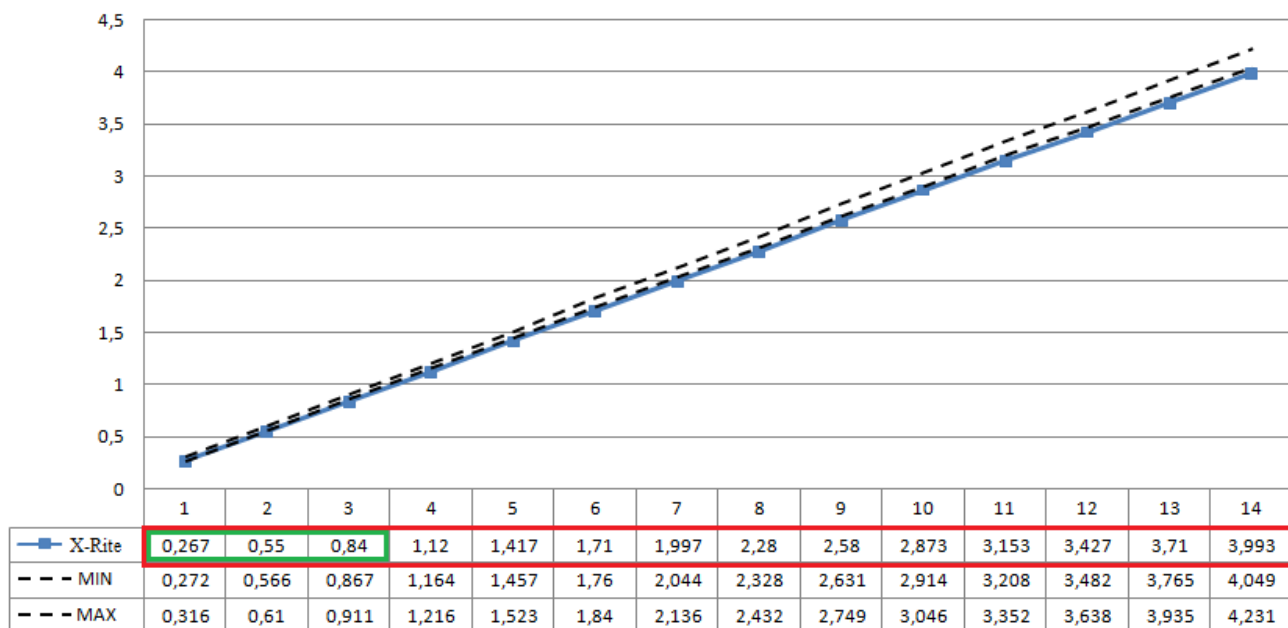
Mjerenja su provedena denzitometrom X-Rite 301-X na AGFA stepeničastom etalonu sa važećim certifikatom i na AGFA stepeničastom etalonu sa ne važećim certifikatom kako bi se dobivene rezultate moglo međusobno usporediti.

Rezultati dobiveni mjerenjem zacrnljenja denzitometrom X-Rite 301-X AGFA stepeničastog etalona sa važećim i ne važećim certifikatom prikazani su u tablicama 6. i 7.

Tablica 6. Vrijednosti zacrnljenja dobivene mjerenjem denzitometrom X-Rite 301-X (AGFA - sa važećim certifikatom)

X-Rite-301X (AGFA - sa važećim certifikatom)							
Stepenica	1.mjerenje	2.mjerenje	3.mjerenje	Srednja vrijednost	Referentna vrijednost	Razlika referentne i srednje vrijednosti	Δ (%)
STEP 1	0.27	0.26	0.27	0.267	0.294	0.027	9.2
STEP 2	0.55	0.55	0.55	0.55	0.588	0.038	6.5
STEP 3	0.84	0.84	0.84	0.84	0.889	0.049	5.5
STEP 4	1.12	1.12	1.12	1.12	1.190	0.07	5.9
STEP 5	1.41	1.42	1.42	1.417	1.490	0.073	4.9
STEP 6	1.71	1.71	1.71	1.71	1.800	0.09	5
STEP 7	2.0	1.99	2.0	1.997	2.090	0.093	4.5
STEP 8	2.28	2.28	2.28	2.28	2.380	0.1	4.2
STEP 9	2.58	2.58	2.58	2.58	2.690	0.11	4.1
STEP 10	2.87	2.87	2.88	2.873	2.980	0.107	3.6
STEP 11	3.15	3.15	3.16	3.153	3.280	0.127	3.9
STEP 12	3.42	3.43	3.43	3.427	3.560	0.133	3.7
STEP 13	3.71	3.71	3.71	3.71	3.850	0.14	3.6
STEP 14	3.99	3.99	4.0	3.993	4.140	0.147	3.5

Zacrtnjenje (D)



Broj stepenice

Slika 14. Dozvoljeno odstupanje referentne vrijednosti etalona od referentnih vrijednosti dobivenih od proizvođača etalona

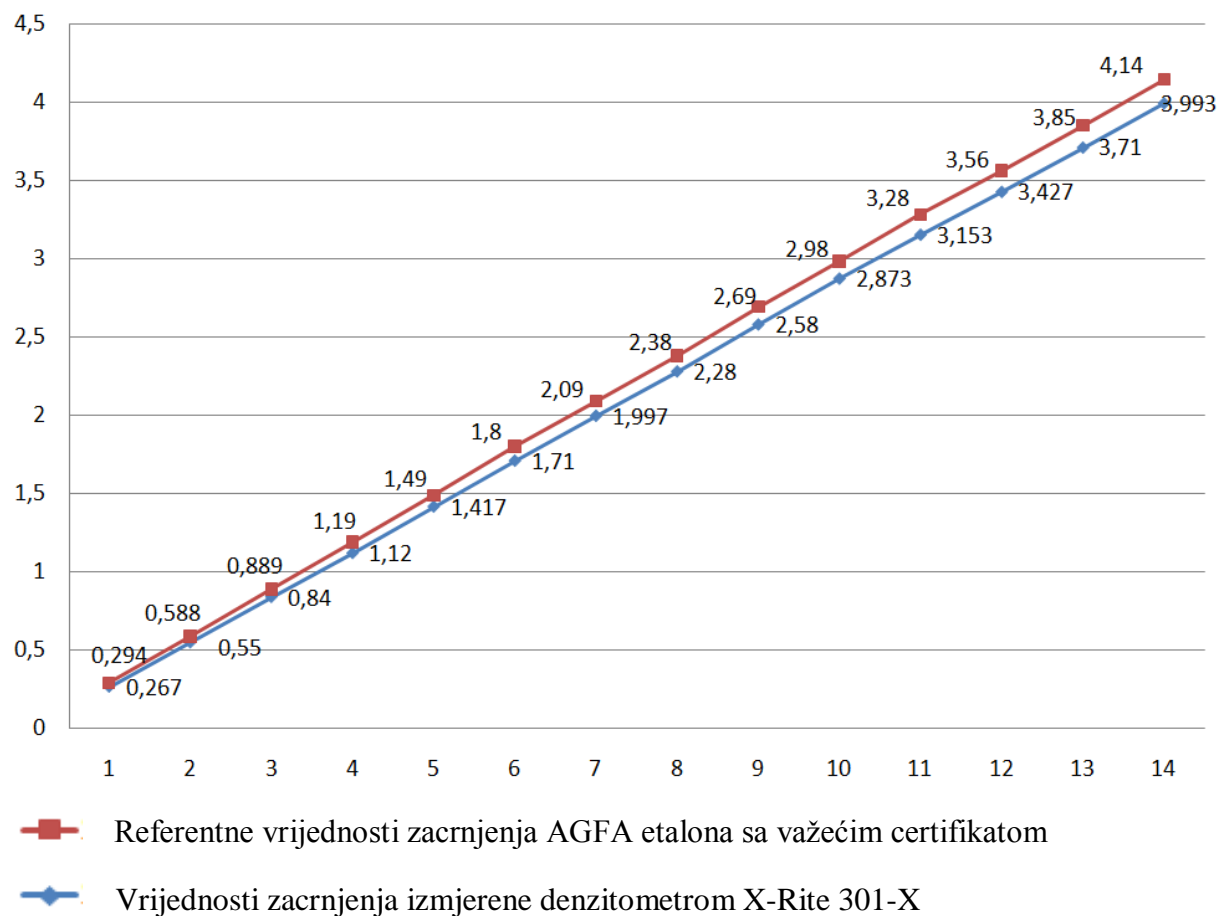
Iz grafa na slici 14. vidljivo je da su sve izmjerene vrijednosti zacrnjenja denzitometrom X-Rite-301X van tolerancijskog polja etalona, a uzme li se u obzir točnost denzitometra koja varira od ± 0.02 samo na prve tri stepenice pokazuje ispravne rezultate. Budući da su mjerenja provedena na etalonu zacrnjenja sa još uvijek važećim certifikatom i da je prethodnim mjerenjem denzitometrom Digit-X (Xograph) potvrđeno da pokazuje ispravne rezultate dolazi se do zaključka da denzitometar X-Rite-301X ne pokazuje ispravne rezultate.

Tablica 7. Vrijednosti zacrnjenja dobivene mjerenjem denzitometrom X-Rite 301-X (AGFA - sa ne važećim certifikatom)

X-Rite-301X (AGFA - sa ne važećim certifikatom)							
Stepenica	1.mjerenje	2.mjerenje	3.mjerenje	Srednja vrijednost	Referentna vrijednost	Razlika referentne i srednje vrijednosti	Δ (%)
STEP 1	0.27	0.27	0.27	0.27	0.307	0.037	12.1
STEP 2	0.57	0.57	0.56	0.567	0.612	0.045	7.4
STEP 3	0.86	0.86	0.86	0.86	0.925	0.065	7
STEP 4	1.16	1.16	1.16	1.16	1.240	0.08	6.5
STEP 5	1.45	1.45	1.46	1.453	1.540	0.087	5.6
STEP 6	1.75	1.74	1.74	1.743	1.850	0.107	5.8
STEP 7	2.03	2.03	2.03	2.03	2.150	0.12	5.6
STEP 8	2.33	2.34	2.34	2.337	2.460	0.123	5
STEP 9	2.64	2.66	2.64	2.647	2.770	0.123	4.4
STEP 10	2.91	2.92	2.91	2.913	3.060	0.147	4.8
STEP 11	3.18	3.19	3.18	3.183	3.350	0.167	5
STEP 12	3.49	3.49	3.49	3.49	3.650	0.16	4.4
STEP 13	3.75	3.75	3.75	3.75	3.950	0.2	5.1
STEP 14	4.0	4.0	4.02	4.007	4.250	0.243	5.7

Na grafu 7. prikazana je usporedba rezultata dobivenih mjerenjem denzitometrom X-Rite 301-X sa referentnim vrijednostima AGFA stepeničastog etalona s važećim certifikatom, a na grafu 8. prikazana je usporedba rezultata dobivenih mjerenjem denzitometrom X-Rite 301-X sa referentnim vrijednostima AGFA stepeničastog etalona s ne važećim certifikatom.

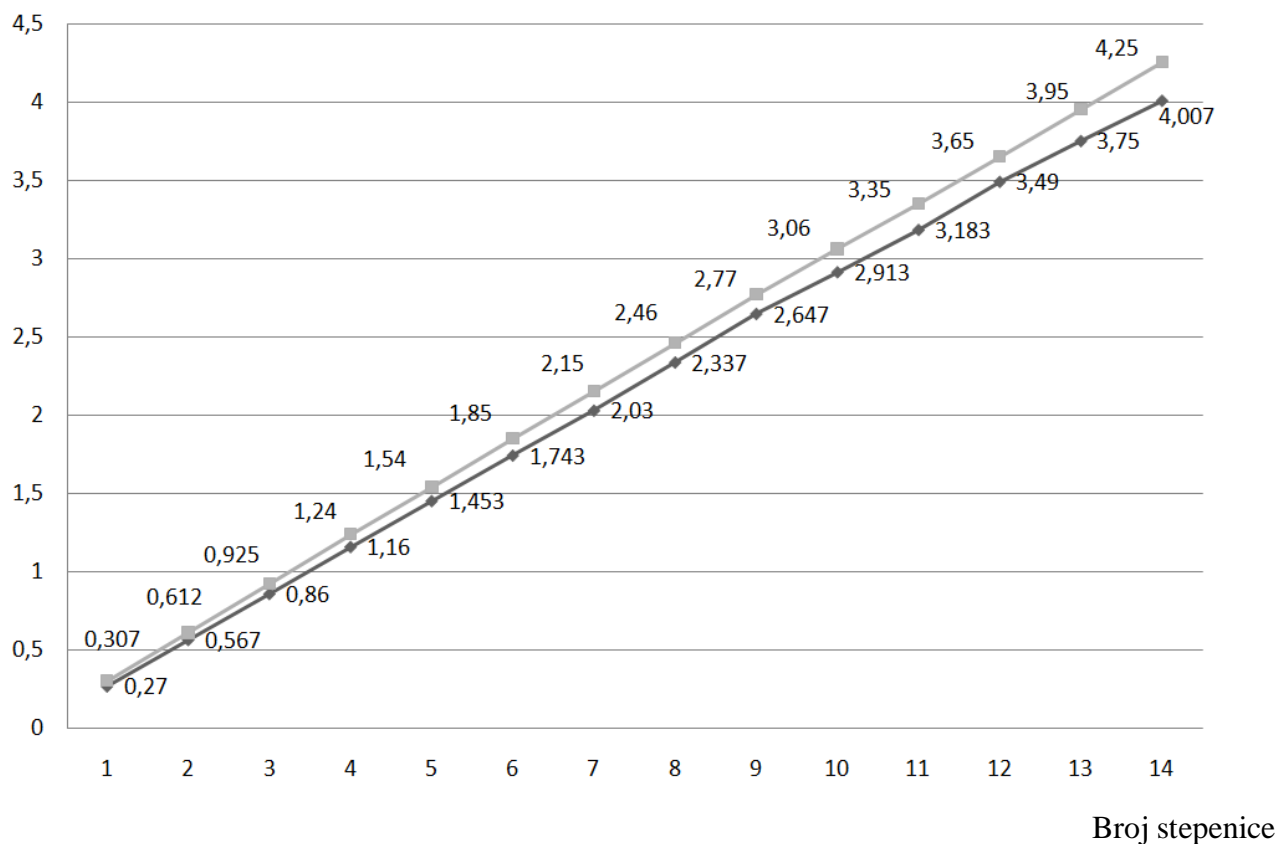
Zacrtnjenje (D)



Slika 15. Prikaz referentnih vrijednosti zacrnjenja i vrijednosti dobivenih mjerenjem

Iz grafa na slici 15. može se vidjeti da su izmjerene vrijednosti zacrnjenja manje od referentnih vrijednosti i da su ova dva pravca gotovo paralelna što znači da je odstupanje od referentne vrijednosti gotovo jednako na svim stepenicama etalona zacrnjenja.

Zacrtnjenje (D)



Slika 16. Prikaz referentnih vrijednosti zacrnjenja i vrijednosti dobivenih mjerenjem

- Referentne vrijednosti zacrnjenja AGFA etalona sa ne važećim certifikatom
- ◆ Vrijednosti zacrnjenja izmjerene denzitometrom X-Rite 301-X

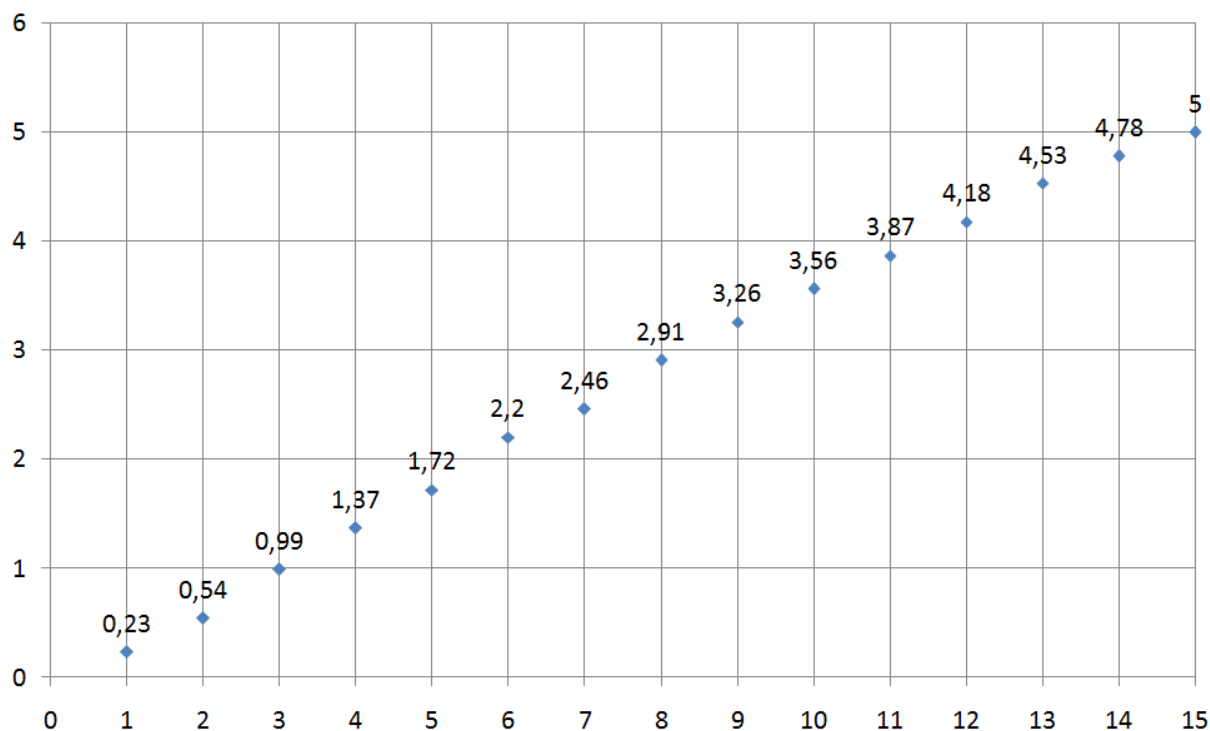
Kao i iz grafa na slici 15. i iz grafa na slici 16. može se vidjeti da su izmjerene vrijednosti zacrnjenja isto manje od referentnih vrijednosti i što je gustoća zacrnjenja stepenice veća, veće je i odstupanje izmjerene vrijednosti od referentne vrijednosti. Usporedbom grafova na slikama 15. i 16. može se uočiti da je odstupanje izmjerenih vrijednosti zacrnjenja od referentnih vrijednosti AGFA stepeničastog etalona bez važećeg certifikata veće od odstupanja izmjerenih vrijednosti od referentnih vrijednosti AGFA stepeničastog etalona sa važećim certifikatom što je zapravo i očekivani rezultat s obzirom na starost tog etalona gdje je s godinama došlo do izbljeđivanja stepenica zacrnjenja na etalonu.

Mjerenja su provedena i na stepeničastom etalonu BAM iz 1998. godine. Kao i pri mjerenju na AGFA stepeničastom etalonu zacrnjenja mjerenja na BAM stepeničastom etalonu izvođena su slučajnim redoslijedom. Referentne vrijednosti BAM stepeničastog etalona prikazane su u tablici 8. Za raziku od AGFA stepeničastog etalona BAM ima jednu stepenicu više sa rasponom zacrnjenja od 0 do 5.

Tablica 8. Referentne vrijednosti dobivene od proizvođača stepeničastog etalona (BAM)

BAM	
Stepenica	Referentna vrijednost
STEP 1	0.23
STEP 2	0.54
STEP 3	0.99
STEP 4	1.37
STEP 5	1.72
STEP 6	2.02
STEP 7	2.46
STEP 8	2.91
STEP 9	3.26
STEP 10	3.56
STEP 11	3.87
STEP 12	4.18
STEP 13	4.53
STEP 14	4.78
STEP 15	5

Zacrtnjenje (D)



Broj stepenice

Slika 17. Grafički prikaz referentnih vrijednosti zacrnjenja (BAM)

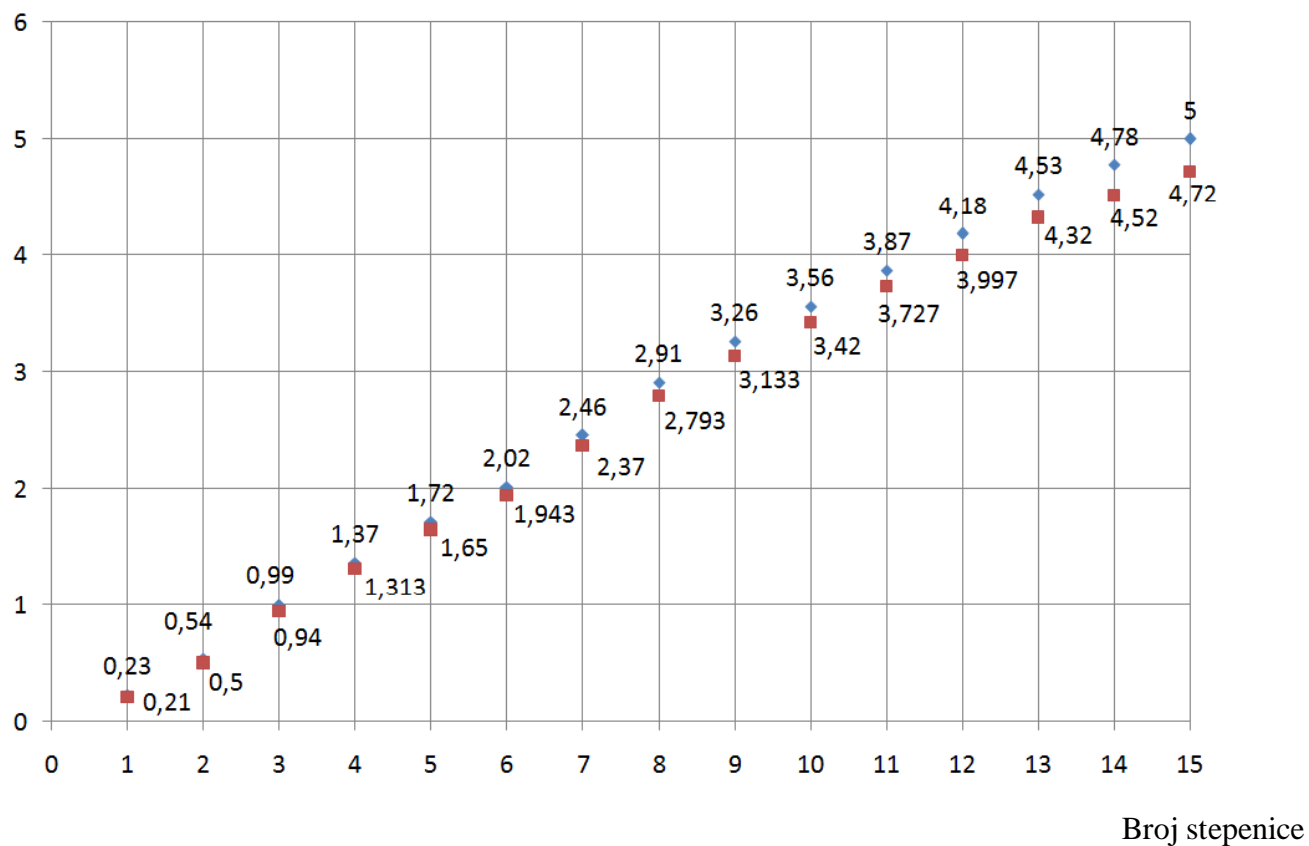
Iz grafa na slici 17. vidljivo je da se raspon od najniže vrijednosti zacrnjenja do najviše vrijednosti zacrnjenja na stepeničastom etalonu zacrnjenja ne mjenja linearno pa ni graf nije linijski već su prikazane samo vrijednosti zacrnjenja na samim stepenicama etalona zacrnjenja jer vrijednosti koje bi prikazivala linija između stepenica zacrnjenja ne bi bile točne.

Referentne vrijednosti zacrnjenja dobivene od proizvođača stepeničastog etalona zacrnjenja uspoređene su sa vrijednostima dobivenim mjerenjem zacrnjenja tog istog etalona sa denzitometrom X-Rite 301-X. Rezultati mjerenja prikazani su u tablici 9.

Tablica 9. Vrijednosti zacrnjenja dobivene mjerenjem denzitometrom X-Rite 301-X

X-Rite 301-X						
Stepenica	1.mjerenje	2.mjerenje	3.mjerenje	Srednja vrijednost	Referentna vrijednost	Razlika referentne i srednje vrijednosti
STEP 1	0.21	0.21	0.21	0.21	0.23	0,02
STEP 2	0.50	0.50	0.50	0.5	0.54	0,04
STEP 3	0.94	0.94	0.94	0.94	0.99	0,05
STEP 4	1.31	1.31	1.32	1.313	1.37	0,057
STEP 5	1.65	1.65	1.65	1.65	1.72	0,07
STEP 6	1.94	1.95	1.94	1.943	2.02	0,077
STEP 7	2.37	2.37	2.37	2.37	2.46	0,09
STEP 8	2.79	2.79	2.80	2.793	2.91	0,117
STEP 9	3.14	3.13	3.13	3.133	3.26	0,127
STEP 10	3.42	3.42	3.42	3.42	3.56	0,14
STEP 11	3.74	3.71	3.73	3.727	3.87	0,143
STEP 12	4.01	4.01	3.97	3.997	4.18	0,183
STEP 13	4.32	4.32	4.32	4.32	4.53	0,21
STEP 14	4.52	4.52	4.52	4.52	4.78	0,26
STEP 15	4.70	4.73	4.73	4.72	5	0,28

Zacrtnjenje (D)



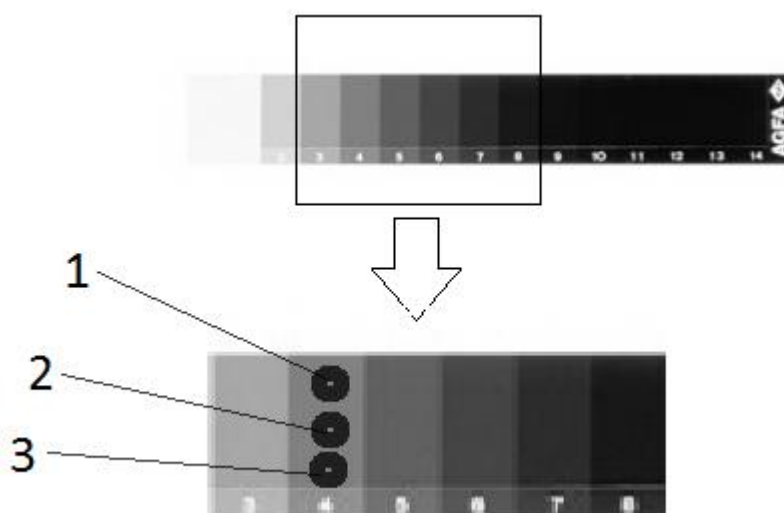
Slika 18. Usporedba referentnih vrijednosti (BAM) i vrijednosti dobivenih mjerenjem

- ◆ Referentne vrijednosti zacrnjenja (BAM)
- Vrijednosti zacrnjenja izmjerene denzitometrom X-Rite 301-X

Iz grafa na slici 18. vidljivo je da s porastom gustoće zacrnjenja izmjerena vrijednost svakom daljnjom stepenicom sve više odstupa od referentne vrijednosti.

Kako bi provjerili da li je zacrnjenje jednako na cijeloj površini stepenice zacrnjenja na stepeničastom etalonu zacrnjenja izvršena su po tri mjerenja na istoj stepenici zacrnjenja i to na tri različite stepenice zacrnjenja na etalonu zacrnjenja. Mjesta na kojima su provedena mjerenja na pojedinim stepenicama označena su brojevima 1, 2 i 3 kako je prikazano na slici 19. Stepenice zacrnjenja na kojima su mjerenja provedena odabrana su na način da je jedna stepenica manjeg zacrnjenja, vrijednost zacrnjenja druge odabrane stepenice je približno $D=2$, te još jedna stepenica većeg zacrnjenja. Mjerenja su izvršena na AGFA stepeničastom etalonu zacrnjenja sa i bez važećeg certifikata i na stepeničastom etalonu zacrnjenja BAM iz 1998. godine sa denzitometrom X-Rite-301X.

Denzitometar X-Rite-301X ima točnost od $\pm 0,02$, te ponovljivost od $\pm 0,01$.



Slika 19. Područja mjerenja zacrnjenja na jednoj stepenici etalona zacrnjenja

Tablica 10. Rezultati mjerenja za AGFA stepeničasti etalon sa važećim certifikatom

STEPENICA	2. STEP	7. STEP	13. STEP
referentna vrijednost	0,588	2,090	3,850
područje 1	0,55	2,0	3,72
područje 2	0,55	1,99	3,71
područje 3	0,55	2,0	3,72

Provedbom ovog mjerenja vidljivo je da je ponovljivost denzitometra X-Rite-301X u dozvoljenom odstupanju iz čega se može zaključiti da je zapravo svejedno na kojem se području površine stepenice zacrnjenja provodi mjerenje. Već je u prethodnim mjerenjima utvrđeno da denzitometar X-Rite-301X ne pokazuje točne rezultate što se vidi i iz ovog mjerenja budući da je jedino mjerenjem sedme stepenice zacrnjenja na stepeničastom etalonu s važećim certifikatom dobiven točan rezultat.

Tablica 11. Rezultati mjerenja za AGFA stepeničasti etalon sa ne važećim certifikatom

STEPENICA	2. STEP	7. STEP	13. STEP
referentna vrijednost	0,612	2,150	3,950
područje 1	0,57	2,05	3,81
područje 2	0,57	2,04	3,77
područje 3	0,58	2,05	3,75

Iz tablice 11. vidljivo je da je zacrnjenje gotovo jednako na bilo kojem području stepenice ukoliko se radi o stepenicama manje gustoće zacrnjenja, ali na stepenici gdje je veća gustoća zacrnjenja dolazi do malih promjena u zacrnjenju ovisno na kojem području stepenice mjerimo. Usporedbom sa referentnim vrijednostima vidi se da je s godinama došlo do izbljeđivanja etalona koje je na manjim vrijednostima zacrnjenja jednoliko, a na većim vrijednostima zacrnjenja izbljeđivanje nije pravilno.

Tablica 12. Rezultati mjerenja za BAM stepeničasti etalon

STEPENICA	2. STEP	6. STEP	11. STEP
referentna vrijednost	0,54	2,02	3,87
područje 1	0,50	1,95	3,74
područje 2	0,50	1,94	3,74
područje 3	0,50	1,93	3,69

Kod BAM stepeničastog etalona iz 1998. godine došao sam do istog zaključka kao i kod AGFA stepeničastog etalona približno iste starosti, dakle s povećanjem gustoće zacrnljenja izbljeđivanje postaje sve nepravilnije.

Kako bi doznali da li na dobivene rezultate mjerenja zacrnljenja utječe i intezitet svjetlosti iluminatora mjerenja su provedena pri maksimalnom intezitetu osvjetljenja kao i pri smanjenom intezitetu osvjetljenja iluminatora na AGFA stepeničastom etalonu zacrnljenja bez važećeg certifikata denzitometrom SAKURA PDA–85.

U tablici 13. Prikazani su rezultati mjerenja zacrnljenja pri maksimalnom intezitetu svjetlosti iluminatora dobiveni mjerenjem zacrnljenja denzitometrom SAKURA PDA–85.

Tablica 13. Rezultati mjerenja zacrnjenja na stepeničastom etalonu zacrnjenja sa ne važećim certifikatom pri maksimalnom intezitetu svjetlosti iluminatora

SAKURA PDA-85							
Stepenica	1.mjerenje	2.mjerenje	3.mjerenje	Srednja vrijednost	Referentna vrijednost	Razlika referentne i srednje vrijednosti	Δ (%)
STEP 1	0.19	0.18	0.19	0.187	0.171	0.016	9.4
STEP 2	0.53	0.45	0.46	0.48	0.307	0.173	56.4
STEP 3	0.78	0.76	0.76	0.767	0.612	0.155	25.3
STEP 4	1.12	1.08	1.09	1.097	0.925	0.172	18.6
STEP 5	1.40	1.38	1.41	1.397	1.240	0.157	12.7
STEP 6	1.69	1.69	1.69	1.69	1.540	0.150	9.7
STEP 7	1.98	1.98	2.00	1.987	1.850	0.137	7.4
STEP 8	2.31	2.31	2.31	2.31	2.150	0.160	7.4
STEP 9	2.63	2.62	2.62	2.623	2.460	0.163	6.6
STEP 10	2.89	2.90	2.90	2.897	2.770	0.127	4.6
STEP 11	3.18	3.18	3.19	3.183	3.060	0.123	4
STEP 12	3.47	3.47	3.51	3.483	3.350	0.133	3.97
STEP 13	3.71	3.72	3.73	3.72	3.650	0.070	1.9
STEP 14	4.01	4.01	4.00	4.007	3.950	0.057	1.44

Smanjeni intezitet svjetlosti dobiven je na način da je na maksimalnom intezitetu svjetlosti iluminatora denzitometar podešen na nulu, te je potencijetrom smanjivan intezitet svjetlosti iluminatora sve dok denzitometar nije pokazao vrijednost zacrnjenja od $D=0,5$, te je pri tome intezitetu svjetlosti denzitometar ponovno podešen na nulu. Iz matematičkog izraza za zacrnjenje izračunato je da je intezitet svjetlosti iluminatora smanjen tri puta, točnije 3,16 puta, u odnosu na maksimalni intezitet svjetlosti iluminatora.

$$D = \log_{10} \frac{I_0}{I}$$

$$D = 0,5$$

$$\frac{I_0}{I} = 10$$

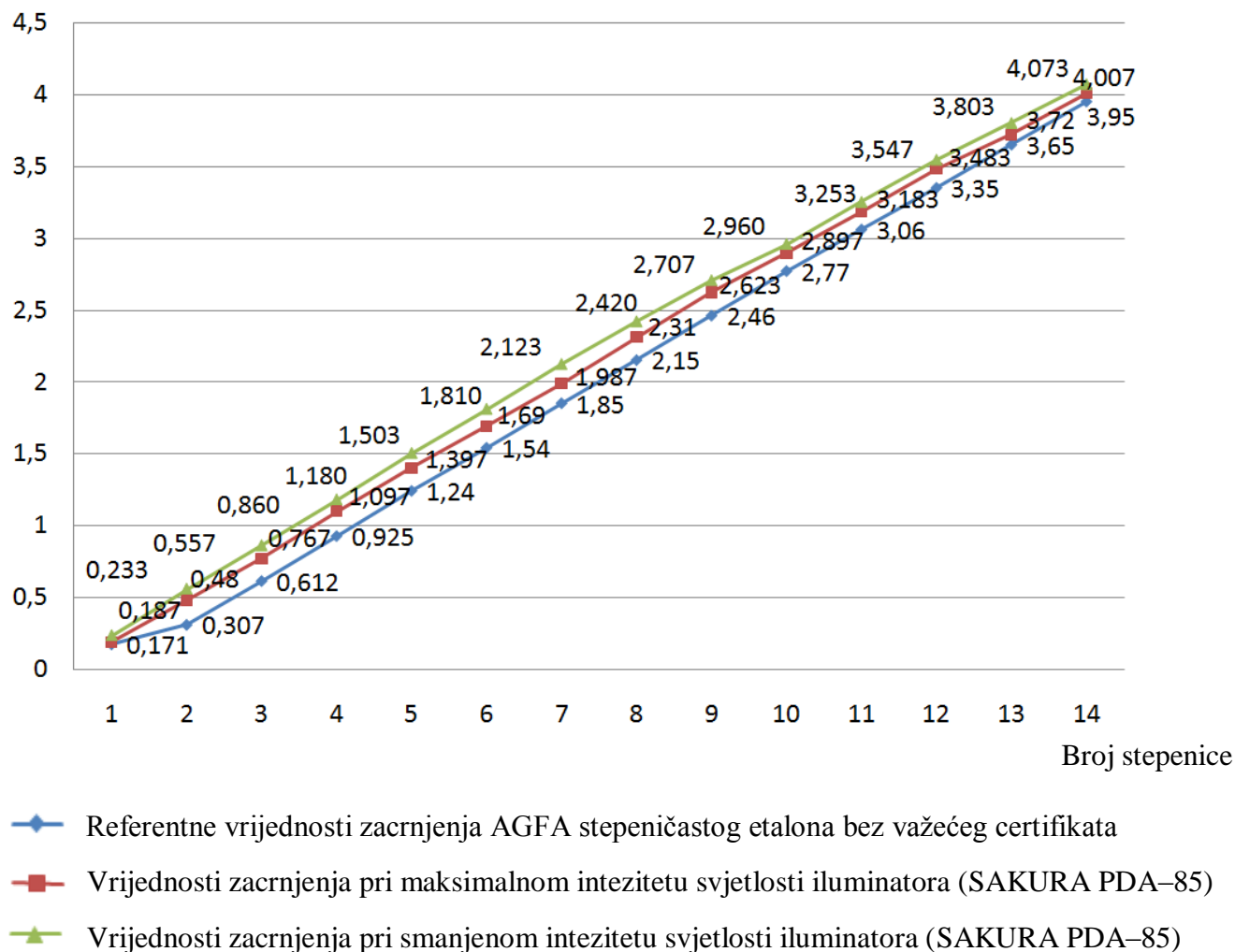
$$0,5 = \log_{10} \Rightarrow 10^{\frac{1}{2}} \Rightarrow \sqrt{10} \Rightarrow 3,16$$

Dobiveni rezultati mjerenja zacrnjenja pri smanjenom intezitetu svjetlosti iluminatora prikazani su u tablici 14. Mjerenja su također provedena denzitometrom SAKURA PDA-85 na istom stepeničastom etalonu zacrnjenja kako bi smo dobivene rezultate mogli usporediti.

Tablica 14. Rezultati mjerenja zacrnjenja na stepeničastom etalonu zacrnjenja sa ne važećim certifikatom pri smanjenom intezitetu svjetlosti iluminatora

SAKURA PDA-85							
Stepenica	1.mjerenje	2.mjerenje	3.mjerenje	Srednja vrijednost	Referentna vrijednost	Razlika referentne i srednje vrijednosti	Δ (%)
STEP 1	0.22	0.28	0.20	0.233	0.171	0.062	36.2
STEP 2	0.51	0.61	0.55	0.557	0.307	0.250	81.4
STEP 3	0.82	0.89	0.87	0.860	0.612	0.248	40.5
STEP 4	1.18	1.16	1.20	1.180	0.925	0.255	27.6
STEP 5	1.52	1.52	1.47	1.503	1.240	0.263	21.2
STEP 6	1.84	1.80	1.79	1.810	1.540	0.270	17.5
STEP 7	2.12	2.13	2.12	2.123	1.850	0.273	14.7
STEP 8	2.41	2.43	2.42	2.420	2.150	0.270	12.6
STEP 9	2.71	2.70	2.71	2.707	2.460	0.247	10
STEP 10	2.96	2.95	2.97	2.960	2.770	0.190	6.8
STEP 11	3.24	3.26	3.26	3.253	3.060	0.193	6.3
STEP 12	3.56	3.54	3.54	3.547	3.350	0.197	5.9
STEP 13	3.79	3.82	3.80	3.803	3.650	0.153	4.2
STEP 14	4.06	4.08	4.08	4.073	3.950	0.123	3.1

Zacrtnjenje (D)



Slika 20. Usporedba rezultata mjerenja zacrtnjenja pri maksimalnom i smanjenom intezitetu svjetlosti iluminatora

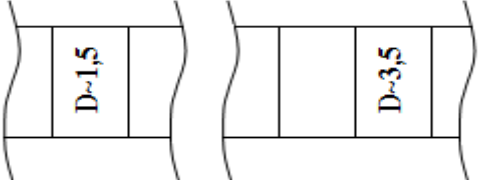
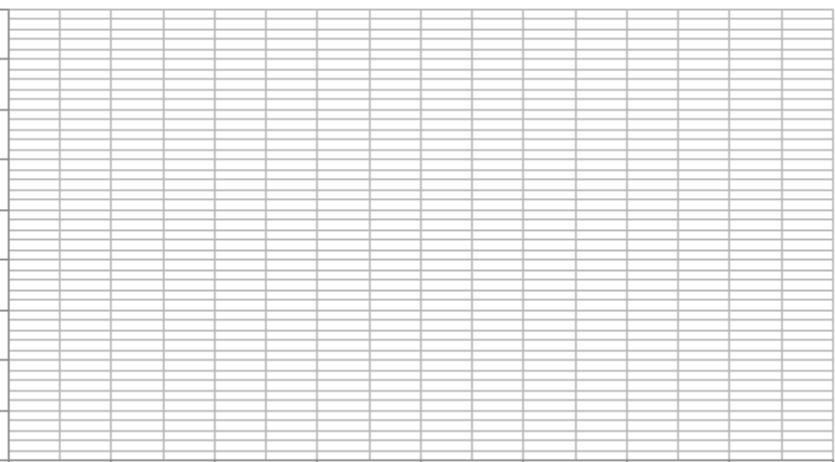
Iz grafa na slici 20. vidljivo je da su vrijednosti zacrtnjenja dobivene mjerenjem zacrtnjenja denzitometrom SAKURA PDA-85 i pri maksimalnom i pri smanjenom intezitetu svjetlosti iluminatora veće od referentnih vrijednosti zacrtnjenja AGFA stepeničastog etalona zacrtnjenja bez važećeg certifikata. Pri smanjenom intezitetu svjetlosti iluminatora i intezitet zraka koje prolaze kroz rendgenski film odnosno stepeničasti etalon zacrtnjenja je manji pa su samim time i vrijednosti zacrtnjenja dobivene mjerenjem zacrtnjenja veće.

Kao rezultat provođenja mjerenja zacrnjenja izrađen je obrazac za provjeru denzitometra. Obrazac sadrži osnovne podatke o opremi koja je potrebna da bi se provjerila točnost mjerenja denzitometra. Područje provjere mjerenja zacrnjenja je $D \approx 1,5-3,5$ budući da je to područje zacrnjenja od najvećeg značaja u provođenju ispitivanja radiografskom metodom unutar metoda nerazornih ispitivanja.

U tablicu je potrebno unijeti rezultate mjerenja. Mjerenja je potrebno provesti tri puta i to slučajnim redoslijedom, te se nakon dobivenih rezultata mjerenja matematički izračuna srednja vrijednost zacrnjenja. Referentne vrijednosti zacrnjenja dobivene su od proizvođača stepeničastog etalona zacrnjenja, te je u tablicu potrebno unijeti razliku između srednje vrijednosti zacrnjenja dobivene na temelju provedenih mjerenja i referentnih vrijednosti zacrnjenja. Zatim se u svrhu lakše predodžbe podaci iz tablice prikazu grafički.

Iz tablice odnosno grafa može se zaključiti da li denzitometar prikazuje točne rezultate. Ukoliko je odstupanje srednjih vrijednosti zacrnjenja od referentnih vrijednosti zacrnjenja konstantno to se jednostavno vidi iz obrasca za provjeru denzitometra, te se pri provođenju mjerenja to uzme u obzir.

Budući da se podešavanje denzitometra nužno mora izvršiti barem jedanput godišnje, obrazac ostaje kao trajan dokument koji je dostupan svakom ispitivaču, te nije potrebno da svaki ispitivač zasebno provjerava denzitometar.

OBRAZAC ZA PROVJERU DENZITOMETRA																																																																				
Osnovni podaci o opremi:																																																																				
DENZITOMETAR	Tip:	ILUMINATOR	Tip:	STEPENIČASTI ETALON	Proizvođač:																																																															
	Serijski broj:		Serijski broj:		Identifikacijski broj:																																																															
	Godina proizvodnje:		Minimalna luminancija (BS EN 25580:1992) 30 000 cd/m²		Valjanost certifikata:																																																															
	Deklarirano odstupanje: Točnost: ± Ponovljivost: ±																																																																			
Područje provjere zacrnjenja: D≈1,5 - 3,5																																																																				
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">Skica stepeničastog etalona</div>  </div>																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">STEP</th> <th style="width: 5%;">1</th> <th style="width: 5%;">2</th> <th style="width: 5%;">3</th> <th style="width: 5%;">4</th> <th style="width: 5%;">5</th> <th style="width: 5%;">6</th> <th style="width: 5%;">7</th> <th style="width: 5%;">8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. mjerenje</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2. mjerenje</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3. mjerenje</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>srednja vrijednost</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>referentna vrijednost</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Δ</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>						STEP	1	2	3	4	5	6	7	8	1. mjerenje									2. mjerenje									3. mjerenje									srednja vrijednost									referentna vrijednost									Δ								
STEP	1	2	3	4	5	6	7	8																																																												
1. mjerenje																																																																				
2. mjerenje																																																																				
3. mjerenje																																																																				
srednja vrijednost																																																																				
referentna vrijednost																																																																				
Δ																																																																				
Grafički prikaz srednje vrijednosti zacrnjenja i referentne vrijednosti zacrnjenja:																																																																				
<div style="display: flex;"> <div style="margin-right: 10px;"> D 4,5 4 3,5 3 2,5 2 1,5 1 0,5 0 </div> <div style="flex-grow: 1;">  </div> <div style="margin-left: 10px; text-align: right;"> STEP </div> </div>																																																																				
Provjeru izvršio:			Potpis:		Datum:																																																															

5. ZAKLJUČAK

Zacrnjenje je vrlo važan parametar pri ocjenjivanju radiograma stoga je vrlo važno imati što točnije izmjerenu vrijednost zacrnjenja. Da bi smo to postigli bitno je da imamo što točniji uređaj za mjerenje zacrnjenja (denzitometar). Za podešavanje denzitometra koriste se stepeničasti etaloni zacrnjenja kod kojih je, kako je vidljivo i iz ovog diplomskog rada, važno da budu certificirani kako bi se osigurala sljedivost.

U radu su ustanovljeni sljedeći utjecajni čimbenici na provedbu postupka periodičke provjere denzitometra:

- starost i opće stanje referentnog stepeničastog etalona zacrnjenja,
- intenzitet iluminacije iluminatora,

Razlika između stepeničastog etalona sa važećim i ne važećim certifikatom sve je izraženija pri mjerenju većih gustoća zacrnjenja. Neovisno radi li se o stepeničastom etalonu zacrnjenja BAM ili AGFA bez važećih certifikata zaključak je isti, s povećanjem gustoće zacrnjenja dolazi do sve većih odstupanja izmjerenih vrijednosti od referentnih vrijednosti dobivenih od proizvođača etalona.

Svaka institucija ili firma, koja zbog prirode posla, ima potrebu mjeriti zacrnjenje trebala bi posjedovati stepeničasti etalon zacrnjenja bilo kojeg proizvođača s važećim certifikatom.

6. PRILOZI

I. CD-R disc

7. LITERATURA

- [1] Fakultet strojarstva u Banja Luci, <<http://www.blmasinac.com>>. Pristupljeno 05. srpnja 2012.
- [2] Autor nepoznat, Oprema i pribor za radiografsku kontrolu
- [3] GE Measurement & Control, <<http://www.ge-mcs.com>>. Pristupljeno 05. srpnja 2012.
- [4] Wikipedia, <<http://en.wikipedia.org/wiki/Densitometry>>. Pristupljeno 08. srpnja 2012.
- [5] Xograph, <<http://www.xograph.com>>. Pristupljeno 08. srpnja 2012.
- [6] Xrite, <<http://www.xrite.com>>. Pristupljeno 09. srpnja 2012.
- [7] Calibration Certificate Structurix certified denstep- X-Ray Film Step Tablet, GE Sensing & Inspection Technologies
- [8] BAM- Bundesanstalt fur Material-forschung und – prufung, Berlin, Geprüfte Schwarzungstreppe fur die technische Radiographie
- [9] Norma BS EN 25580:1992 / ISO 5580:1985 - Specification for Minimum requirements for industrial radiographic illuminators for non-destructive testing, 15. lipanj 1992.